《心理学报》论文自检报告

1. 请以“研究亮点”的形式列出最多三条本研究的创新性贡献，总共不超过 200 字。
《心理学报》的目标是发表“既科学优秀，又具有广泛兴趣和意义” (be both scientifically excellent and of particularly broad interest and significance)的心理学前沿研究。如果您的研究只有小修小补的贡献，没有尝试开创新的研究领域(new areas of inquiry)或提出独到见解和创新视角(unique and innovative perspectives)，特别纯粹只是研究没有明确心理学问题的算法或技术的工作，这类研究被本刊接受的机会小，建议另投他刊。

答：

1) 首次将多天内的皮质醇觉醒反应（CAR）变异性作为量化指标，突破了传统使用 CAR 均值的方法，提供了新的视角。
2) 分析睡眠效率的操控对 CAR 变异性及其与心理弹性/特质焦虑的关联，揭示了心理健康和生理反应之间的复杂相互作用。
3) 通过自然睡眠和完全睡眠剥夺两种对照实验情境，创新地验证了环境变化对 CAR 变异性及心理健康影响的假设。

2. 作者已经投稿或发表的文章中是否采用了与本研究相同的数据？如果是，请把文章附上审查。(我们不赞成作者用同一数据发表多篇变量相同的文章，也不赞成将一系列的相关研究拆成多个研究来发表的做法。)

答：否

3. 管理、临床、人格和社会等领域仅有自我报告(问卷法)的非实验非干预研究，需要检查数据是否存在共同方法偏差(common method bias)。为控制或证明这种偏差不会影响研究结论的效度，你使用了什么方法？采取了哪些措施？(共同方法偏差的有关文献可参见：http://journal.psych.ac.cn/xlkxjz/CN/abstract/abstract894.shtml)基于横断数据，仅有自我报告，仅仅在方便样本中施测，这样的研究数据易取得，但通常创新性价值不大，被本刊接受的机会小。

答：本研究为实验研究，在两项实验中分别采取了准实验和真实验设计，并非仅采用问卷法。

4. 是否报告并分析了效果量(effect sizes；如：t 检验：Cohen's d；方差分析：η^2 或 η_p^2；标准化回归系数)？(很多研究只是机械地报告了效果量，但没有做必要的分析或说明，如效果量是大中小？有什么理论意义或应用意义？)。(在 google 中搜索“effect size calculator”，可搜到许多计算方便的 APP。效应量的有关解释，中文可参考：http://journal.psych.ac.cn/xlkxjz/CN/abstract/abstract1150.shtml；英文可参看：http://www.uccs.edu/lbecker/effect-size.html
是否报告统计分析的 95% CI？(如，差异的 95% CI；相关/回归系数的 95% CI)置信区间的有关计算和绘图可参考 https://thenewstatistics.com/itns/esci/)

答：是

5. 请写出计划的样本量，实际的样本量。如果二者有差别，请写出理由。以往心理学研究中普遍存在样本量不足导致的低统计功效(power)问题，我们建议在论文的方法部分解释您计算及认定样本量的依据。应该以有一定依据的效果量(effect size)、期望的功效来确定样本量，并报告计算用软件或程序。样本量计划的理由和做法可参考 https://osf.io/5awp4/

答：本研究使用 Gpower 软件对样本量进行了计算，效应量基于前人研究发现设定为 0.5，α 设定为 0.05, 1－β 设定为 0.8，计划样本量为 26 名。实验一最终实际样本量 28 名，实验二实际样本量为 40 名。

6. 假设检验中，如果是零假设显著性检验(NHST)，需报告精确 p 值而不是 p 的区间(小于 0.001 的报告区间，其他报告精确 p 值)。你的论文是否符合该项要求？如果是贝叶斯因素，是否已报告其对先验分布假定的敏感性？

答：是

7. 为保证论文中数据报告的完备性，统计分析中如果剔除了部分数据，是否在文中报告？原因是什么？包含这部分数据的统计结果如何变化？统计分析中是如何处理缺失数据的？使用量表时是否删除了其中的个别题目？原因是什么？如果包含这部分题目，统计结果会如何变化？是否有测量的项目或者变量没有报告？原因是什么？请写出在论文中的位置。

答：本研究在统计分析中剔除了极个别的被试的数据，因为这部分被试的样本采集并未遵守相关的采集协定而存在明显的异常或缺失，详细信息见方法中的“被试”部分。所用的量表均采用原始的版本，并未对题目进行删减，具体的量表信息见附件。

8. 研究用到的未经过同行评议和审查的实验材料、量表或问卷，是否附在文件的末尾以供审查？如果没有，请写出理由。如果该文发表，您是否愿意公开这些材料与其他研究者共享？

答：在本研究中并未使用未经同行评议和审查的实验材料、量表或问卷。

9. 本刊要求作者提供原始数据，请在以下 3 种里选择一种打√：

a)投稿后将数据发至编辑部邮箱 (√)

b)数据可以从如下链接中获得 ______________________________ ( )

c)原始数据和程序已在心理科学数据银行(https://psych.scidb.cn/)上分享 ( )

d)如不能提供，请说明理由或提供有关证明。

10. 您的研究是否是临床干预或实验室实验？ 是(√) 否( )

如果是，请提供预注册登记号 ____________________。

如果没有，请说明原因本研究在设计之初采取了探索性的研究方法，旨在首次调查多天内CAR 变异性与心理健康之间的关系。在这一领域，相关文献相对匮乏，因此我们希望通过一系列实验数据来探索可能的变量间关联。由于缺乏相关的理论基础和先前数据，研究初始阶段的设计相对开放，无法进行明确的假设预注册。

注：临床干预或实验室实验，建议在收集数据前预注册(pre-register)。也鼓励其他实验研究预注册。预注册要求写出所有的研究假设及其支持，以及实验/干预的详细过程和步骤。本期刊的预注册网站是 https://os.psych.ac.cn/preregister (使用说明书见本刊网站“下载中心”)或 https://osf.io/ 或 https://aspredicted.org/。如果您的研究有预注册，会显著增加被录用的机会。预注册的重要性可参考 https://osf.io/5awp4/

11. 您的研究如果用到了人类或动物被试，是否得到所在单位伦理委员会的批准？如果是，请把扫描版发至编辑部邮箱。如果否，请说明理由。

答：是

12. 是否依据编辑部网站发布的“英文摘要写作注意事项”撰写 400~500 个单词的英文大摘要？英文题目和摘要是否已请英语好的专业人士把关或者已送专业 SCI/SSCI 论文编辑公司修改润色？

答：是

13. 如果第一作者是学生，请导师单独给编辑部(xuebao@psych.ac.cn)发邮件，说明已阅读本文并认真把关。是否已提醒导师给编辑部发邮件？(编辑部收到导师邮件后才会考虑进入稿件处理流程)

答：是

14. 请到编辑部网站首页右侧“下载中心”下载并填写“稿件不涉密证明”，加盖通讯作者单位的保密办公章，把扫描件发至编辑部邮箱(xuebao@psych.ac.cn)。如没有保密办公章，请加盖通讯作者的单位公章。是否已发邮件？

答：是

睡眠效率相关的皮质醇觉醒反应的变异性及其与特质焦虑和心理弹性的关系

摘要：皮质醇觉醒反应 (CAR)与个体的心理健康密切相关。传统研究将多天的平均值作为CAR 的指标探讨二者的关系，然而由于 CAR 受个体状态性因素（例如，睡眠）的影响，研究结论非常不一致。对此，本研究将多天内的 CAR 变异性作为量化 CAR 的新指标，并且将特质焦虑与心理弹性作为反映个体心理健康状态的关键变量，探讨在控制/操纵睡眠效率的情境下，CAR 变异性与心理健康的关系。实验一在自然睡眠情境下通过提高睡眠效率的稳定性来降低 CAR 变异性，发现自然睡眠的 CAR 变异性与特质焦虑分数之间呈显著的正相关，说明稳定环境下较小的 CAR 变异性伴随着个体较低的特质焦虑水平。实验二则通过完全睡眠剥夺的操纵提高 CAR 变异性，发现睡眠剥夺前后的 CAR 变异性与心理弹性呈显著的正相关。说明变动环境下较大的 CAR 变异性伴随着个体较高的心理弹性水平。上述结果表明，CAR 变异性是衡量心理健康的可信生理指标。在多天内考虑 CAR 变异性对于理解个体如何适应日常生活中的压力和挑战具有重要意义，并且可以为促进心理健康和设计有效的干预策略提供新的视角和依据。

关键词：皮质醇觉醒反应, 变异性, 睡眠效率, 特质焦虑, 心理弹性

1 引言

皮质醇觉醒反应(Cortisol Awakening Response, CAR)作为应激激素皮质醇昼夜节律活动的一部分，它是指个体的皮质醇水平在觉醒后的 30—45 分钟内出现峰值，并且在 1 小时内会增加 50%至 160%(Clow et al., 2004; Pruessner et al., 1997)。由于了解 CAR 在心理健康中的作用有助于为心理疾病的诊断和治疗提供生物标记物，研究者们尤其关注 CAR 与心理健康的关系。有研究强调高水平的 CAR 可能反映了个体积极的心理特征，这是由于 CAR 作为一种资源，其增加有助于个体应对未来的挑战或工作(Adam et al., 2006; Xiong et al., 2021)。与之相反，应激适应理论认为长期的生活压力和应激刺激可能导致身体逐渐调整以降低过度的生理激活(McEwen & Stellar, 1993)，这可能表现为 CAR 的减少。在这个理论框架下，低水平的 CAR 可能被视为对应激适应的一种体现，反映了身体系统的调整以减轻长期的生理负担。上述矛盾的观点在 Chida 和 Steptoe 进行的一项元分析(Chida & Steptoe, 2009)中显得尤为突出。在一些研究中，疲劳、倦怠等负向心理特征与 CAR 的减少有关(Shea et al., 2007; Therrien et al., 2008)；而在另一些研究中，积极健康的心理特征同样也与 CAR 的减少有关(Steptoe et al., 2007; Wüst et al., 2000)；甚至是对于同一心理健康变量（抑郁），在一些研究中其与 CAR 的增加有关，而在另一些研究中则又与 CAR 的减少有关(Johnson et al., 2008; Therrien et al., 2008)。

值得注意的是，在二者关系的探讨上，先前的研究通常将 CAR 在多天内的平均值作为指标，探讨 CAR 的大小和心理健康之间的关系。这种分析方法主要基于先前的研究将 CAR 视作是一种稳定的生物标记物，它在多天内具有较高的稳定性(Pruessner et al., 1997)。然而，随着研究的不断推进，越来越多的因素被发现可能会对 CAR 产生显著影响，例如睡眠特征(Stalder et al., 2016)。有研究发现觉醒时间较早的个体通常会伴随着更高的 CAR(Edwards et al., 2001)；也有研究发现较短的睡眠时间会伴随着较高的 CAR(Kumari et al., 2009; Wüst et al., 2000)；还有研究发现相较于控制组，个体在经历整晚的睡眠剥夺后，CAR 会出现明显的钝化并且峰值点会发生后移(Vargas & Lopez-Duran, 2020)。此外，有证据表明较差的睡眠质量会伴随着较低的 CAR (Lasikiewicz et al., 2008)。由此可见，特定的睡眠特征是影响特定 CAR 水平的一个重要变量，多天内 CAR 的变化可能反映了机体对应激水平的灵活调节以及对于不同睡眠特征的灵活适应。因此，单纯使用平均量指标来标记 CAR 或许无法捕捉到这种适应性变化，进而导致研究结论出现偏差。

CAR 作为调节压力反应和体内激素平衡的下丘脑—垂体—肾上腺(HPA)轴节律性活动

的重要产物之一，表现出波动性。CAR 在多天内出现的波动情况被定义为 CAR 变异性，使用多天内 CAR 指标的标准差来进行量化。相较于传统的考虑多天内 CAR 的平均量，分析多天 CAR 变异性，可以更好地捕捉个体生理反应的动态性和波动性。在多天环境相似且预期压力水平稳定的情况下，较小的 CAR 变异性表示 HPA 轴对环境压力的适应性良好，心理状态较为稳定，从而反映了良好的心理健康(Pruessner et al., 1997)。另一方面，环境和内在压力的显著变化要求个体的 HPA 轴能够灵活调整皮质醇的释放以适应这些变化。因此，在多天环境存在显著变化的情况下，较大的 CAR 变异性反映了个体的 HPA 轴展现出对不同压力水平的灵活适应，这种适应性是心理弹性和应对能力的标志，有助于个体长期维持心理健康(Adam et al., 2006)。

在反映个体心理健康的诸多变量中，特质焦虑和心理弹性是其中的两个重要概念，它们在个体应对压力、适应变化和维持心理健康方面发挥着关键作用。特质焦虑是指个体倾向于经历焦虑感的稳定人格特征，它反映了个体在面对潜在威胁时的持续性和普遍性的应激反应(Spielberger et al., 2017)。心理弹性是指个体在面对逆境时恢复力量的能力，它涉及到个体在遭受压力、挑战或失败后的适应性和恢复能力(Masten, 2001)。特质焦虑和心理弹性从两个不同的维度反映了个体应对压力和逆境的能力。特质焦虑强调了个体对压力的敏感性和可能的负面适应方式，而心理弹性则突出了个体的恢复力和正面适应策略，同时探讨这两个变量可以提供一个更为全面的视角，以理解个体如何在心理层面上应对生活中的挑战。

综上所述，本研究试图将 CAR 变异性作为反映应激激素皮质醇昼夜节律活动的指标，分析 CAR 变异性与特质焦虑/心理弹性二者之间的关系。CAR 变异性受睡眠特征的影响(Stalder et al., 2016)，睡眠效率是个体的主要睡眠特征之一，是指个体实际的睡眠时间占总上床时间的比重(Wolpert, 1969)。相较于其他睡眠特征，睡眠效率可以更为全面地反映一个人睡眠的有效程度，是影响 CAR 变异性的重要因素。因此，在计算 CAR 变异性指标的时候，有必要考虑睡眠效率的作用。由于个体的应激激素皮质醇昼夜节律会在总体上表现出稳定性(Selmaoui & Touitou, 2003)，因此如果在睡眠效率变化较小的情况下，个体的 CAR 变异性也会更小。相反，如果睡眠效率出现大范围的波动，那么个体的 CAR 变异性也会出现较大波动。为了检验以上假设，实验一采用睡眠自然观测的方法，通过提高睡眠效率稳定性的方法降低 CAR 变异性，在此种情境下，较小的 CAR 变异性体现了个体积极心理健康的心理特点 ，具体表现为更高的心理弹性得分以及更低的特质焦虑得分。实验二采用睡眠剥夺的方法，通过降低睡眠效率的稳定性进而提高 CAR 变异性，在此种情境下，较大的 CAR 变异性更能体现个体积极健康的心理特点，个体会伴随着更高的心理弹性得分以及更低的特

质焦虑得分。

2 实验一：睡眠自然观测情境下，CAR 变异性及其与特质焦虑/心理弹性的关系

2.1 研究目的

在睡眠自然观测情境中，通过提高睡眠效率稳定性的方法降低 CAR 变异性，并探讨其与特质焦虑/心理弹性的关系。

2.2 方法

2.2.1 被试

为确保具有足够的统计功效以检测预期的效应，使用 GPower 3.1 进行了样本量计算。基于先前的研究发现，CAR 与特质焦虑/心理弹性之间存在着中到大程度的效应量（Kudielka and Kirschbaum, 2005；Pruessner et al., 1999），而 CAR 变异性相较于传统的 CAR 平均量更能捕获皮质醇在多天内的动态变化，因此可能与特质焦虑/心理弹性存在着更为密切的联系。基于此，在本实验中预计效应量设定为 0.5。显著性水平α设定为 0.05，统计功效 1－β设定为 0.8。根据 Pearson 相关的统计分析，GPower 的计算结果表明至少需要 26 名被试以确保检测相关效应。考虑到可能的样本流失，本实验通过网络广告招募了 30 名健康的大学生作为付费志愿者。由于未能遵守 CAR 采集协议的原因(Stalder et al., 2016, 2022)，2 名被试的数据被排除，最终样本包括 28 名被试，其中 15 名为女性(*M*=20.33，*SD*=1.72)，13 名为男性(*M*=19.69，*SD*=2.06)。鉴于女性的生理期不同阶段可能会对 CAR 产生影响(Wolfram et al., 2011)，为避免对实验结论的干扰，通过问卷调查确认女性参与者处于黄体期。所有参与研究的个体均未患有精神、神经或睡眠障碍，未服用精神药物或糖皮质激素药物，也未滥用酒精或其他物质。

2.2.2 心理健康问卷

特质焦虑量表(Trait Anxiety Inventory ,TAI)，该量表用于评估个体的长期、特质性焦虑水平(Spielberger & Diaz-Guerrero，1971)。本研究采用叶仁敏修订的 TAI 中文版本(叶仁敏 & TomRocklin, 1988)，该量表共由 20 个项目组成，覆盖了焦虑症状的各个方面。每个项目采用李克特 4 点评分，评分范围从 1 ("几乎从不") 到 4 ("几乎总是")。总分越高说明受试者特质焦虑水平可能越高，本研究中该问卷的克隆巴赫系数α为 0.897。

心理弹性量表(Connor-Davidson resilience scale ,CD-RISC)，该量表用于评估个体在应对压力、挑战和逆境时的适应和恢复能力(Connor & Davidson 2003)。本研究采用 CD-RISC 量

表的中文版本(于肖楠 & 张建新, 2007)，该量表共由 25 个项目组成，每个项目采用李克特 5 点评分，评分范围从 0 ("很不符合") 到 4 ("很符合") 。量表得分越高说明心理弹性越好，本研究中该问卷的克隆巴赫系数α为 0.87。

2.2.3 睡眠数据采集

使用 Actigraph 腕表 (Phillips Respironics, Inc.) 采集客观睡眠数据。该设备是一款佩戴在主导手腕上的基于加速度计的装置，旨在客观地监测睡眠–觉醒周期和身体活动水平。数据收集和初步分析是通过 ActiLife 睡眠分析软件 (版本 6.13，MiniMitter/Philips Respironics) 完成的。具体计算以下睡眠指标：在床时间（Time in Bed, TIB），被试尝试入睡到最终醒来的总时长；觉醒时长 (Wake After Sleep Onset, WASO)，被试在首次入睡后到早晨起床之前，所有觉醒时期的总时长；实际睡眠时间 (Total Sleep Time, TST)，通过从在床时间（TIB）中减去觉醒时长 (WASO) 计算得出。最后，客观睡眠效率 (Sleep Efficiency, SE) 根据公式 SE = (TST / TIB) × 100%，计算实际睡眠时间占在床时间的百分比。

参与者的主观睡眠数据是通过睡眠日志来记录的，日志包括以下内容：(1) 昨晚闭眼准备睡觉的时间；(2) 睡着所需时间；(3) 早上醒来的时间。基于这些信息，计算了以下睡眠指标：总在床时间 (Total Bed Time, TBT)，早上醒来的时间减去昨晚闭眼准备睡觉的时间；实际睡眠时间 (Total Sleep Time, TST)，总在床时间减去睡着所需时间。最后，主观睡眠效率 (Sleep Efficiency, SE) 根据公式 SE = (TST / TBT) × 100%，计算实际睡眠时间占总在床时间的百分比。

2.2.4 唾液皮质醇采集与分析

被试在每个采集日内需要完成 4 个唾液样本的采集，采集时间点分别为觉醒后的 0、30、45 和 60 分钟。此外，在每天样本采集完成前均不得进食、饮用饮料 (包括含有酒精、咖啡因或果汁的饮料)、刷牙漱口或吸烟。使用特定的取样装置 (Salivette, SARSTEDT, Germany) 收集被试的唾液样本。每次采集时，被试需要将采集管中的棉球直接倒入口中咀嚼 1 分钟，之后将棉球直接吐回采集管内并盖好盖子，采集全程需要避免手的接触以防止污染。每次采集完成后，需要将采集管放入用药检测系统 (MEMSCap™ Medication Event Monitoring System, MWV Switzerland Ltd.) 中，以记录客观采集时间。在回收完唾液样本之后，所有样本在分析前被保存在–20℃的冰箱中。

使用酶联免疫测定法 (ELISA, IBL-Hamburg，Germany) 来测定皮质醇浓度，以评估被试的皮质醇昼夜节律活动。皮质醇数据在分析前，先进行清洗和极端值的处理，以满足统计分析的前提。首先，将皮质醇数据的单位从 ug/dl 转换为 nmol/l。由于皮质醇数据通常呈正

偏态分布，对其进行平方根转换(Miller & Plessow, 2013; Schlotz, 2011)，转换后进行正态性检验以确保数据符合正态分布。极端值被定义为距离均值三个标准差之外的数据，并使用相应的上下 5%的百分位数对其进行替换(Schlotz, 2011)。

2.2.5 实验流程

在正式实验开始之前，被试需要与主试约定时间前往实验室进行面对面会谈，这一设计已被证明可以有效提高被试对样本采集协定的遵从性(Stalder et al., 2016; 2022)。在会谈中主试首先向被试介绍了睡眠腕表的佩戴方法以及注意事项。在整个实验期间，被试需要在午夜零点前准备睡觉并且保持 7—9 小时充足且规律的睡眠，过早/过晚的入睡/起床均被禁止。此外，被试还需要一直佩戴睡眠腕表于自己的惯用手，腕表要紧贴手部皮肤，无特殊情况不得取下，在实验结束后由主试进行统一回收。然后，被试被告知唾液采集的流程与注意事项。被试需要在给定的一周时间内任意的选择适当的三个工作日进行唾液样本的采集，所选的采集日需要尽可能的贴近被试的日常生活状态，在采集日前后不得有重大的压力事件，以便于控制周末、工作日的差异以及压力因素对 CAR 造成的影响(Stalder et al., 2016)。被试在每次采集完唾液样本之后还需要记录每次采集的具体时间，采集时间的准确与否会影响被试最终取得的报酬。会谈结束后被试填写相关的人口统计学以及心理健康问卷。

在正式数据采集期间，主试会与被试在每个采集日之前约定时间以便于提供和回收实验材料并确认被试是否明确并遵从了实验中的注意事项。不符合实验要求的行为以及意外事件被加以记录，并在评估了其对数据质量的影响程度后，对数据进行剔除或保留。此外，被试在每天清晨还需要在规定时间 (8 点) 及时填写由主试定时发送的睡眠日志。

2.2.6 数据分析

所有数据均采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。在方差分析之前，对数据进行正态性和方差齐性检验，考虑到重复测量数据可能违反球形假设，故对于不满足球形假设的变量采用格林豪斯-盖斯勒（Greenhouse-Geisser）矫正对自由度进行了调整，以修正由于违反假设而带来的统计推断偏误。当方差分析结果显著时，进一步采用邦弗朗尼（Bonferroni）方法进行事后多重比较。具体而言，以采集天数 (自然日 1、自然日 2 和自然日 3) 作为自变量，采用单因素重复测量方差分析检验睡眠效率的日间差异。针对皮质醇原始数据，以每日采集时间点 (0 分钟、30 分钟、45 分钟和 60 分钟) 和采集天数 (自然日 1、自然日 2 和自然日 3) 作为自变量，通过重复测量方差分析检验采集时间点和日间差异的主效应和交互作用。之后在每日采集的四个时间点中，使用后三个时间点的平均皮质醇水平相对于第一个时间点皮质醇的增加量计算得出平均增加量 (Mnlnc) ，使用四个时间点皮质醇水平的极差 (max–min)

作为 CAR 的每日指标(Stalder et al., 2016)，以采集天数（自然日 1、自然日 2 和自然日 3）作为自变量，通过单因素重复测量方差分析检验 CAR 的日间差异。

最后，将 CAR 的平均增加量 (Mnlnc) 以及极差 (max–min) 的日间标准差作为 CAR 变异性的指标。在进行相关分析之前，对 CAR 变异性指标以及问卷得分进行了正态检验，以确保其满足积差相关的分析前提。由于年龄和性别被发现可能会对 CAR 产生影响(Kudielka & Kirschbaum, 2005; Oskis et al., 2009; Pruessner et al., 1999; Stroud et al., 2002)，因此在进行相关分析时，将年龄和性别设置为协变量，计算了 CAR 变异性指标和特质焦虑/心理弹性二者之间的偏相关。同时还将计算 CAR 在三天里的平均值，同样在检验满足正态性之后，计算其与特质焦虑/心理弹性的偏相关，以此来比较 CAR 变异性和 CAR 平均值与心理健康指标相关的差异。

2.3 结果

2.3.1 睡眠效率的日间差异

三个自然日的客观睡眠效率和主观睡眠效率的描述性统计结果如表 1 所示。重复测量方差分析结果发现三个采集日内的客观睡眠效率之间并不存在显著差异，$F(2,54)=0.57$，$p=0.61$；三个采集日内的主观睡眠效率之间也并无显著差异，$F(2,54)=0.03$，$p=0.97$。

表 1 睡眠效率的描述统计

类型	采集天数	平均值	标准差
客观睡眠效率	自然日 1	96.00	3.09
	自然日 2	95.84	3.34
	自然日 3	95.87	4.59
主观睡眠效率	自然日 1	88.33	6.00
	自然日 2	89.41	4.89
	自然日 3	89.22	5.84

2.3.2 CAR 的日间差异

每日采集时间点皮质醇水平见图 1(a)。重复测量方差分析结果表明，采集时间点的主效应显著，$F(2.04,54.98)=19.81$，$p<0.001$，效应量 η2 =0.42。这表明 42%的观察到的皮质醇变化的总变异可以由采集时间点来解释。该结果强调了时间对清晨觉醒后皮质醇水平变化的显著影响，可能揭示了皮质醇在觉醒后如何迅速调整的生理机制。进一步的事后多重比较结果显示，觉醒后 30 分钟的皮质醇水平显著高于觉醒时 ($p<0.001$, 95% *CI:* 0.26-0.88)、觉醒后

45 分钟 (p=0.01, 95% *CI*: 0.03-0.35) 和觉醒后 60 分钟 (p<0.001, 95% *CI*: 0.29-0.79)。采集日的主效应不显著 $F(2,54)$=1.99, p=0.147，采集日和采集时间点的交互作用不显著 $F(3.72,100.36)$=0.59, p=0.66。

三个自然日的 CAR 每日指标 (Mnlnc、max–min)见图 2(b)，重复测量方差分析发现两个每日指标在三个采集日内的差异均不显著，$F_{Mnlnc}(5,54)$=0.24, p=0.78；$F_{max-min}(5,54)$=1.83, p=0.17。

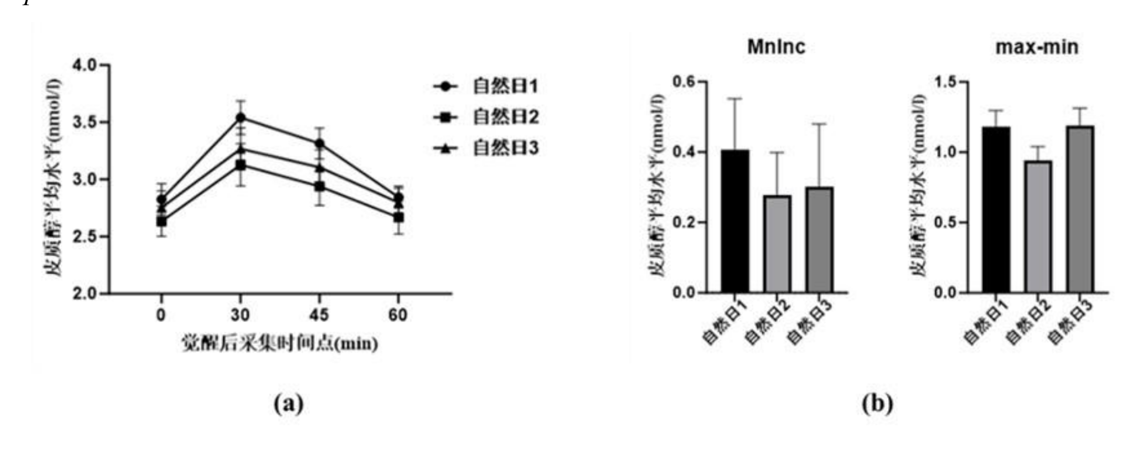


图 1 皮质醇与日间 CAR 每日指标的差异检验

2.3.4 CAR 与特质焦虑/心理弹性的相关分析

CAR 变异性、CAR 平均值及其与特质焦虑/心理弹性的相关如表 2 所示。结果显示，在控制了年龄和性别后，根据 Mnlnc 计算得出的 CAR 变异性与特质焦虑有着显著的正相关，r=0.42，p=0.03。控制协变量之后，上述两个变量残差的散点图见图 2。上述结果表明较小的 CAR 的变异性伴随着个体较低的特质焦虑量表得分。CAR 变异性与心理弹性得分相关并不显著。此外，在使用 CAR 平均值作为指标时，其与特质焦虑和心理弹性得分之间的相关均不显著。

表 2　CAR 的不同计算指标与特质焦虑和心理弹性量表的皮尔逊相关

CAR 指标		平均值	标准差	特质焦虑	心理弹性
CAR 变异性	Mnlnc	0.74	0.26	**0.42***	–0.09
	max–min	0.63	0.24	0.11	–0.09
CAR 平均值	Mnlnc	0.33	0.52	–0.25	0.01
	max–min	1.10	0.40	0.31	–0.21

注：显著性（双尾检验）：*p < 0.05。

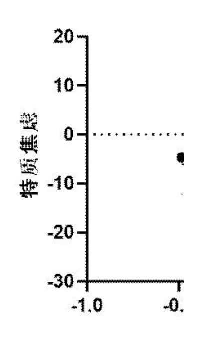


图 2　CAR 变异性指标与特质焦虑的残差散点图

2.4 讨论

三个采集日内均出现了相似的 CAR 反应模式，即皮质醇水平在觉醒后 30 分钟上升至峰值，并在之后开始逐渐下降，直至觉醒后 60 分钟下降到与刚刚觉醒时无差异的程度。CAR 的这种反应模式与前人研究相一致，觉醒后 30 分钟皮质醇水平的上升和随后的下降可能反映了 HPA 轴的快速反应和调节机制。这种模式表明，HPA 轴对早晨觉醒的适应是快速的，而一旦完成对晨起挑战的适应，皮质醇水平又会回落，反映出 HPA 轴对日常节律的调节(Pruessner et al., 1997)。

其次，结果发现被试在三个自然睡眠情境下的睡眠效率具有较小的变异，并且他们在次日清晨的 CAR 也具有较小的变异性。这可能说明了一种稳定的睡眠模式与 HPA 轴功能之间的潜在关联。HPA 轴是响应压力的主要神经内分泌系统，它通过释放皮质醇等激素来帮助身体适应压力。睡眠与 HPA 轴之间存在生理联系，因为睡眠是身体恢复 HPA 轴活动的关键时期。高质量的睡眠可能有助于维持 HPA 轴的稳态平衡，而睡眠障碍则可能导致 HPA 轴功能紊乱(Vgontzas et al., 2001)。因此，稳定的睡眠效率可能反映了 HPA 轴的良好调节功能，这可能进一步表现为 CAR 的稳定性。

重要的是，研究结果发现在三个相似的自然睡眠情境下，个体较低的 CAR 变异性会伴随着较低的特质焦虑量表得分。CAR 作为应对压力的生理指标之一，其变异性可能反映了个体应对环境压力的能力。较小的 CAR 变异性表明个体每日觉醒时的生理反应相对稳定，可能意味着他们能更有效地管理和适应日常生活中的压力。这种稳定的应对机制与较高的心理健康水平和较低的焦虑水平相关联(Kuhlman et al., 2020)。除此之外，稳定的 CAR 可能反映了个体心理和生理调节机制之间良好的协调能力。当个体能够有效地管理心理应激，减少负面情绪和焦虑的影响时，这种心理状态的稳定性可能会通过减少生理应激反应的波动来体现，从而表现为 CAR 变异性较小(Scher et al., 2010)。

然而，仅仅在使用 Mnlnc 作为每日 CAR 计算指标时，才能观察到 CAR 变异性与特质

焦虑之间存在显著的正相关。当使用 max–min 作为每日 CAR 指标时，二者的相关却并不显著。造成这一差别的原因可能在于两个 CAR 每日指标背后的生物学意义有所不同。Mnlnc 主要反映了个体觉醒后皮质醇水平的整体上升趋势。这个指标可以视为衡量个体对觉醒这一日常生理过程反应的敏感性和强度的指标。而 max–min 反映了觉醒后一定时间内皮质醇水平的波动范围，即 CAR 的波动幅度。这个指标提供了关于个体生理反应变异性的信息，可以视为个体应激系统调节能力和适应性的一个指标(Clow et al., 2004)。这两个指标可能反映了机体对觉醒过程中压力反应的不同方面，揭示了不同的生理调节机制和应对压力的策略。在实验一中，被试处于自然睡眠情境下，Mnlnc 作为一个反映 CAR 整体上升趋势的指标，可能更能捕捉到个体在相对稳定的环境中的生理调节能力。这种上升趋势的一致性可能与个体如何有效管理日常压力和情绪波动相关，因此表现出与特质焦虑之间存在着显著的相关关系。

除了上述结果之外，实验一中并未观察到 CAR 变异性和心理弹性之间存在着显著的相关。造成这一现象的原因除了可能存在的较小样本量的限制外，还可能是因为在相似的自然睡眠情境下，个体缺乏明显的外部应激源的刺激，心理弹性可能并未发挥出明显的作用，从而在结果中并未发现心理弹性和 CAR 变异性之间存在显著关联。基于此，实验二通过睡眠剥夺的实验操纵来提高 CAR 变异性，并进一步分析 CAR 变异性与特质焦虑/心理弹性的关系。

3 实验二：睡眠剥夺情境下，CAR 变异性及其与特质焦虑/心理弹性的关系

3.1 研究目的

采用睡眠剥夺的方法，通过降低睡眠效率的稳定性提高 CAR 的变异性，并探讨其与特质焦虑/心理弹性的关系。

3.2 方法

3.2.1 被试

实验二同样使用 Gpower3.1 进行被试量的计算，参数设定同实验一（效应量 0.5，α=0.05，1﹣β=0.8），分析方法基于 Pearson 相关。结合 Gpower 计算结果以及可能存在的样本流失，实验二通过网络广告招募 42 名健康大学生作为付费志愿者。由于未能遵守 CAR 采集协议的原因(Gröschl, 2008; Jelkmann, 2001)，2 名被试的数据被排除，最终样本包括 40 名被试，其中 20 名为女性(M=20.6，SD=1.60)，20 名为男性(M=20.9，SD=1.80)。通过问卷调查确认

女性参与者处于黄体期。所有参与研究的个体均未患有精神、神经或睡眠障碍，未服用精神药物或糖皮质激素药物，也未滥用酒精或其他物质。

3.2.2 心理健康问卷

同实验一。

3.2.3 睡眠剥夺

使用完全睡眠剥夺(Total Sleep Deprivation, TSD)操纵睡眠效率，创设与自然睡眠情境完全不同的特殊实验情境。完全睡眠剥夺是指个体在一定时间内完全没有睡眠的状态。在这种条件下，个体被阻止进入任何形式的睡眠，包括所有睡眠阶段和快速眼动 (REM) 睡眠。

本实验已经得到伦理审查委员会的批准。所有参与者均已详细了解研究目的、程序和潜在风险，并已自愿签署知情同意书。

3.2.4 唾液皮质醇的分析

实验二采用液相色谱-质谱（LC-MS）技术来定量分析被试的唾液样本中的皮质醇水平。该技术因其高度的灵敏度和特异性而被选用，特别适用于检测生物样本中的低浓度激素 (Gröschl, 2008; Jelkmann, 2001)。

唾液样本在分析前，经过离心处理 (5000rpm, 4°C, 10 分钟)，通过吸取样本上清液并使用滤膜进行过滤以去除大分子杂质。分析使用的液相色谱系统配备了一个反相色谱柱。流动相由水相和有机相组成，梯度洗脱以优化分离效率。质谱检测采用电喷雾离子化（ESI）源，以正离子模式操作。皮质醇的离子监测（MRM）转换设置为特定的前体离子和产物离子，以确保分析的特异性和灵敏度。质谱参数，如碰撞能量和离子源温度，经过优化以获得最佳的信号强度。皮质醇水平采用外标法进行定量，通过比较样品中皮质醇的响应与已知浓度标准曲线的响应进行。数据处理和定量分析使用特定的质谱软件进行。

3.2.5 实验流程

在实验二中，首次会谈的内容，问卷的填写，以及正式实验中前两个采集日使用的材料、具体的操纵流程均同实验一。不同之处在于，被试在参与 TSD 实验之前，会与主试协商时间，并且在此过程中，被试被告知他们在参与实验的当天，白天均不得睡觉或者打盹，并且要严格佩戴睡眠腕表不得随意取下。实验于当天晚上 10 点开始，被试需要在此之前前往实验室并完成一整晚的睡眠剥夺，剥夺全程均用遮光窗帘对自然光进行完全遮蔽，实验室内只保留恒定功率的 LED 灯光。实验全程均有两名主试参与以确保被试没有睡觉或打盹，倘若主试发现被试正在打盹，要迅速将其叫醒。在实验过程中，被试需要始终保持情绪的平稳，激烈刺激的活动以及含有酒精、咖啡因的饮品的饮用被禁止。在次日清晨的 7 点到 8 点之间，

被试被要求不得进食、饮用饮料、刷牙漱口或吸烟。并在 8 点、8 点 30、8 点 45 和 9 点四个时间点，由主试提醒进行唾液样本的采集，并在采集完成后，对唾液样本与睡眠腕表进行统一的回收和保存。

3.2.6 数据分析

所有数据均采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。与实验一相同，在方差分析前对数据进行检验以满足统计分析前提，对于不满足球形假设的变量使用格林豪斯-盖斯勒矫正对自由度进行调整。在方差分析结果显著后，进一步采用邦弗朗尼方法进行事后多重比较。具体而言，以每日采集时间点（0 分钟、30 分钟、45 分钟和 60 分钟）和采集天数（自然日 1、自然日 2 和剥夺日 3）作为自变量，通过重复测量方差分析采集时间点和日间差异的主效应和交互作用。之后同样使用平均增加量 (Mnlnc) 以及极差 (max–min) 作为 CAR 的每日指标，以采集天数（自然日 1、自然日 2 和剥夺日 3）作为自变量，通过单因素方差分析 CAR 的日间差异。在实验二中，CAR 的变异性被计算为前两个正常睡眠日下 CAR 的均值与睡眠剥夺后的 CAR 计算得出的标准差，在正态检验之后分析了 CAR 变异性与特质焦虑/心理弹性在控制了年龄和性别之后的偏相关。

3.3 结果

3.3.1 CAR 的日间差异

每个采集时间点的皮质醇水平见图 3(a)。采集时间点和采集日的交互作用显著 $F(4.51, 171.43) = 7.08, p < 0.001$，效应量 $\eta 2 =0.16$。这说明皮质醇变化的总变异中有 16%是由采集时间点和采集日的交互影响所解释的。结果表明，皮质醇水平不仅受到单一因素的影响，而且其变化也与这两个因素的相互作用有关。进一步的简单效应分析表明，在自然日 1 和自然日 2 下，被试在觉醒后 30 分钟左右，皮质醇水平达到峰值之后开始逐渐下降。然而在经历了完全睡眠剥夺之后，四个采集时间点之间的差异均未达到显著水平。CAR 的每日指标 (Mnlnc、max–min)见图 3(b)。结果发现两个 CAR 每日指标的采集日主效应均显著，$F_{Mnlnc}(2,76) =12.09, p < 0.001$，$\eta 2 =0.24$；$F_{max–min}(2,76) = 10.84, p < 0.001$，$\eta 2 =0.22$。上述结果表明，Mnlnc 和 max–min 的变化在不同的采集日之间显示出相当的变异性，并且这些变异有较大的一部分可以由采集日的变化所解释。进一步的多重比较结果表明，CAR 在前两个采集日之间并无显著差异，并且前两个采集日的 CAR 都要显著高于睡眠剥夺后的第三个采集日。

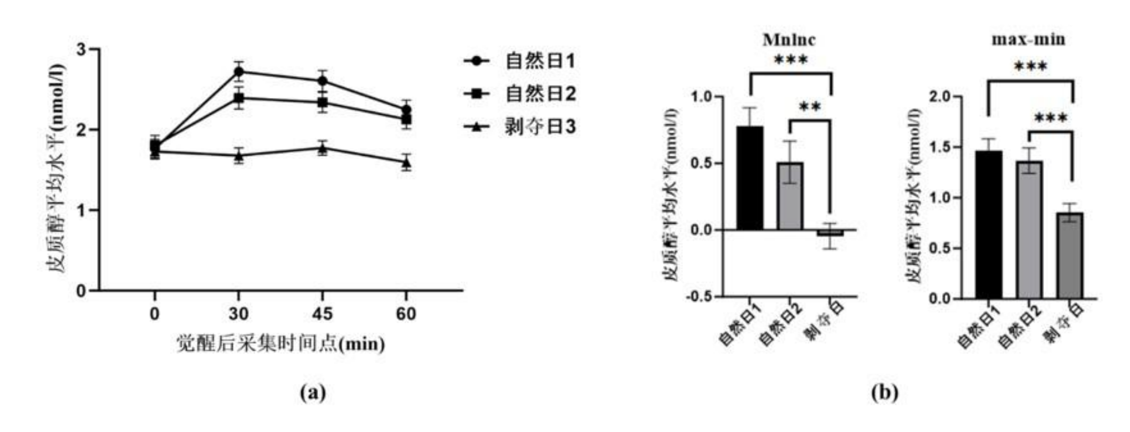


图 3 皮质醇与 CAR 每日指标的差异检验

注：显著性（双尾检验）：*$p < 0.05$；**$p < 0.01$；***$p < 0.001$

3.3.2 CAR 与特质焦虑/心理弹性的相关分析

在控制了年龄和性别的影响后，CAR 变异性与特质焦虑/心理弹性的相关结果如表 3 所示。结果表明，根据 max–min 计算得出的 CAR 变异性和心理弹性量表相关显著，r=0.36，p=0.03。上述 CAR 变异性指标和心理弹性，在控制协变量之后的残差散点图见图 4。以上结果说明，被试在睡眠剥夺前后的较大 CAR 的变异性会伴随着更高的心理弹性得分。

表 3　CAR 的不同计算指标与特质焦虑和心理弹性量表得分的皮尔逊关系

CAR 指标		平均值	标准差	特质焦虑	心理弹性
CAR 变异性	Mnlnc	0.78	0.27	0.02	–0.06
	max–min	0.69	0.24	0.18	**0.36***
CAR 平均值	Mnlnc	0.41	0.56	–0.07	0.23
	max–min	1.22	0.48	0.12	–0.08

注：显著性（双尾检验）：*$p < 0.05$。

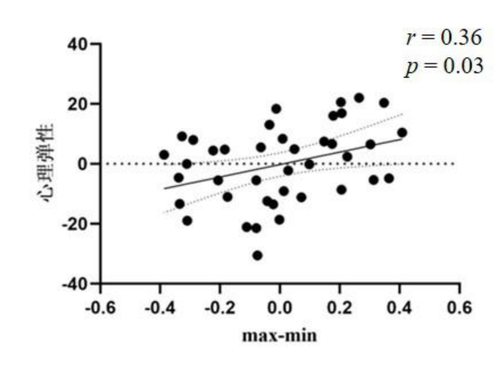


图 4　CAR 变异性指标与心理弹性/特质焦虑的残差散点图

3.4 讨论

实验二结果发现睡眠剥夺导致次日 CAR 的显著钝化，这与前人的研究发现相一致

(Minkel et al., 2012)。长时间的觉醒和睡眠剥夺可能减弱 HPA 轴对于觉醒刺激的反应，导致觉醒时皮质醇的释放减少，即 CAR 的钝化。这种效应可能是因为 HPA 轴经历了过度激活而进入一种相对抑制的状态，从而在短期内降低了其对于觉醒刺激的敏感性(Vargas & Lopez-Duran, 2020)。

相关结果分析表明睡眠剥夺后 CAR 变异性与心理弹性水平呈正相关，这说明个体的心理弹性水平越高，其在睡眠剥夺后的 CAR 变异性越高。心理弹性强调个体在应对压力、挑战和逆境时的适应和恢复能力(Connor & Davidson 2003)。具有高心理弹性的个体更能有效地应对压力情境，如睡眠剥夺，并通过积极的适应性机制维持生理和心理健康。在这种情况下，CAR 的较大变异性可能反映了个体在面对睡眠剥夺这一压力源时，能够通过调节自身的生理反应来进行迅速的适应和恢复。然而与假设不同的是，在实验二中并未观察到 CAR 变异性指标和特质焦虑得分二者之间存在显著的相关。这可能是因为特质焦虑反映了个体对环境中威胁的稳定知觉倾向，具有相对稳定的特质特性，对急性变化的敏感性较低(Endler & Kocovski, 2001)。这一特点使其可能对因睡眠剥夺而导致的 CAR 变异并不敏感。

不同于实验一的发现，上述相关仅仅在使用 max–min 计算每日 CAR 时出现。相反，在使用 Mnlnc 时，CAR 的变异性与心理弹性/特质焦虑之间并未显示出显著的相关关系。造成这一差异的原因可能同样源于这两个指标背后不同的生物学含义。Mnlnc 主要反映的是个体觉醒后皮质醇水平的整体上升趋势，而 max–min 则反映了个体觉醒后一定时间内皮质醇水平的波动幅度。在实验二中，被试处于 TSD 的极端应激情境下，max–min 作为反映 CAR 波动幅度的指标，更可能直接反映个体对于极端变化的生理反应强度和调节范围。而 TSD 作为一种极端的应激源，可以激发个体极为强烈的生理和心理反应，并进而导致次日 CAR 的波动幅度增大。这种增加的波动幅度可能与个体在应对极端应激源时所展现的心理适应性和恢复能力相关(Clow et al., 2010)，并最终表现为 CAR 变异性与心理弹性之间存在的显著正相关。

除了上述结果之外，与实验一相似，当使用 CAR 的均值作为指标进行计算时，其与特质焦虑和心理弹性量的相关均不显著。这一结果进一步强调了在评估与特质焦虑和心理弹性之间的关系时，相较于 CAR 变异性，使用 CAR 平均量具有局限性。因为 CAR 很容易受到其他诸多因素的影响，包括心理压力、睡眠质量、时间压力、生物节律、甚至采样方法等(Stalder et al., 2016)，所以仅仅计算 CAR 的平均量可能忽略了这些因素在不同时间下对个体 CAR 所产生的不同影响。相较之下，分析 CAR 变异性则可以提供更为全面的信息。首先，CAR 变异性可能更敏感地反映了个体对于不同压力源的生理反应。CAR 变异性能够捕捉到

日间 HPA 轴反应模式的微妙差异，为理解心理状态对生理过程的影响提供了更丰富的信息。其次，CAR 变异性的分析可能更好地反映了个体适应和应对环境压力的能力。例如，在睡眠剥夺后 CAR 变异性的增加可能表示个体在努力调节其生理状态以适应压力。最后，CAR 变异性与特质焦虑和心理弹性之间的关系表明，它可能是一个更全面的衡量个体心理健康状态的生理指标，可以提供关于个体如何在不同时间和不同压力下调节其生理反应的重要信息。

4 总讨论

本研究通过对具有相似睡眠效率的自然睡眠情境下进行观测（实验一），以及完全睡眠剥夺的实验操纵创设了具有显著睡眠差异的实验情境（实验二），分别探讨了 CAR 变异性与心理弹性和特质焦虑的关系。结果发现，在相似的自然睡眠情境下，CAR 变异性小，并且 CAR 变异性和特质焦虑之间存在着显著的正相关；而在睡眠剥夺前后的不同睡眠情境下，CAR 变异性大，并且 CAR 变异性和心理弹性之间存在着显著的正相关。与上述结果相对应的是，当使用多天 CAR 的平均量作为指标时，不论睡眠情境是否相似，其与心理弹性和特质焦虑之间均不存在显著的相关关系。上述结果基本支持假设，即 CAR 变异性指标是衡量个体心理健康（例如，特质焦虑和心理弹性）更为有效的生理指标。

CAR 自提出以来，已然成为心理生理学和睡眠研究领域的一个重要指标，用于评估个体对压力的反应和昼夜节律的调节。尽管目前研究者们针对 CAR 已经展开了丰富的研究并取得了显著进展，但是目前仍有一些关键问题尚未得到有效解决。首先，尽管 CAR 已被用作评估个体健康状态的生物标志物，但是其与具体健康结果（如心理健康障碍、心血管疾病）之间的关系还存在争议(Chida & Steptoe, 2009)。尤其是 CAR 的增加或减少如何反映特定健康风险，以及如何利用 CAR 进行早期预警和干预，仍是研究的热点。此外，尽管目前已知 CAR 与应激反应和 HPA 轴的活动有关，但其具体的生物学机制仍不完全清楚。特别是对于 CAR 究竟是一个随觉醒而自然发生的生理反应，还是一个由人体内部昼夜节律驱动的过程(Vargas & Lopez-Duran, 2020)。针对上述问题，本研究通过将 CAR 变异性与特质焦虑和心理弹性等心理健康指标相关联，提供了利用 CAR 进行心理健康评估和干预的全新角度，为利用 CAR 来预测健康风险和进行早期干预提供了理论基础。此外，本研究还通过研究睡眠剥夺对 CAR 的影响，发现了 CAR 不仅受到昼夜节律的影响，还与睡眠—觉醒转换过程紧密相关。这为理解 CAR 的激活机制和与昼夜节律的交互提供了新的视角。

尽管此前的研究已经发现睡眠与 CAR 之间存在着一定联系(Edwards et al., 2001; Kumari et al., 2009; Lasikiewicz et al., 2008; Wüst et al., 2000)，但是睡眠究竟是如何与 CAR 想联系的，

在这一问题上目前仍存在争议。对此，本研究通过两项实验进一步探讨了自然睡眠以及睡眠剥夺前后的睡眠效率波动对 CAR 变异性的影响。首先，本研究发现睡眠剥夺后 CAR 存在着显著的变化，并且睡眠效率的波动会对 CAR 的变异产生影响。这些发现不仅强调了睡眠对于维持机体正常的生理应激反应的重要性，也揭示了睡眠与人体应激系统之间存在着复杂的交互作用。其次，本研究强调了改善睡眠质量在维持个体生理和心理健康中的重要性。通过揭示睡眠效率变化对 CAR 变异性的产生的影响，本研究为设计针对性的睡眠干预措施提供了科学依据，即我们可以通过改善个体的睡眠质量，降低睡眠效率的日间变异来优化日间的生理应激反应，进而促进机体的整体健康。总体而言，本研究不仅丰富了对睡眠与日间生理调节之间复杂联系的认识，也为睡眠领域带来了新的研究方法和干预思路。

在心理健康指标的选取上，本研究选择了特质焦虑和心理弹性作为反映个体心理健康状态的两个核心指标。特质焦虑反映了个体在面对潜在威胁时的持续性和普遍性的应激反应，是一个稳定的个性特征(Spielberger et al., 1971)。心理弹性则描述了个体在面对逆境时的恢复力和适应能力(Masten, 2001)。同时考虑特质焦虑和心理弹性，提供了一个更为全面的研究框架，以此来理解个体如何从生理和心理两个层面应对压力。这种多维度的测量方法可以帮助更好地识别那些在应对日常生活压力时可能需要额外支持的个体。此外，本研究通过探索 CAR 变异性与特质焦虑和心理弹性之间的关系，展示了如何利用生理指标来评估和理解个体的心理健康状态。这为未来研究提供了一个有价值的参考，表明整合生理和心理数据可以深化对个体健康状态的理解。综上所述，本研究通过结合特质焦虑和心理弹性这两个心理健康指标，不仅加深了对个体应对压力机制的理解，也为心理健康干预提供了新的思路，具有重要的理论和实践意义。

本研究也存在着一定的局限性。首先，本研究中的两项实验均使用了三天的 CAR 样本来计算 CAR 变异性。而三天内的 CAR 测量可能受到个体生活事件、突发因素等多种无关因素的影响，这些因素的短期变化可能会对 CAR 变异性产生较大影响。未来的研究可以考虑扩展测量时间跨度，增加测量频次，以获得更全面和深入的理解。其次，本研究中的两项实验所使用的样本量均比较小，选取的被试群体均为大学生群体，在统计结论的检验力和外部效度上略显不足。未来的研究可以进一步扩大样本量以及被试群体，以获取更为可靠的研究结论。

总的来说，本研究提供了一个探讨 CAR 和心理健康之间关系的新的分析思路，相较于传统对于平均量的分析，考虑多天内 CAR 变异性，探讨其与心理健康的关系，提供了一种更为全面和细致的方法来理解生理和心理健康之间的复杂动态关系。这种方法有助于揭示更

多关于个体如何适应日常生活中的压力和挑战的信息，从而为促进心理健康和设计有效的干预策略提供了新的视角和依据。

参考文献

Adam, E. K., Hawkley, L. C., Kudielka, B. M., & Cacioppo, J. T. (2006). Day-to-day dynamics of experience–cortisol associations in a population-based sample of older adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(45), 17058–17063. https://doi.org/10.1073/pnas.0605053103

Chida, Y., & Steptoe, A. (2009). Cortisol awakening response and psychosocial factors: A systematic review and meta-analysis. *Biological Psychology*, *80*(3), 265–278. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2008.10.004

Clow, A., Hucklebridge, F., Stalder, T., Evans, P., & Thorn, L. (2010). The cortisol awakening response: More than a measure of HPA axis function. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*(1), 97–103. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.011

Clow, A., Thorn, L., Evans, P., & Hucklebridge, F. (2004). The Awakening Cortisol Response: Methodological Issues and Significance. *Stress*, *7*(1), 29–37. https://doi.org/10.1080/10253890410001667205

Connor, K. M., & Davidson, J. R. T. (2003). Development of a new resilience scale: The Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC). *Depression and Anxiety*, *18*(2), 76–82. https://doi.org/10.1002/da.10113

Edwards, S., Evans, P., Hucklebridge, F., & Clow, A. (2001). Association between time of awakening and diurnal cortisol secretory activity. *Psychoneuroendocrinology*, *26*(6), 613–622.

Endler, N. S., & Kocovski, N. L. (2001). State and trait anxiety revisited. *Journal of Anxiety Disorders*, *15*(3), 231–245.

Gröschl, M. (2008). Current Status of Salivary Hormone Analysis. *Clinical Chemistry*, *54*(11), 1759–1769. https://doi.org/10.1373/clinchem.2008.108910

Jelkmann, W. (2001). Pitfalls in the Measurement of Circulating Vascular Endothelial Growth Factor. *Clinical Chemistry*, *47*(4), 617–623. https://doi.org/10.1093/clinchem/47.4.617

Johnson, D. M., Delahanty, D. L., & Pinna, K. (2008). The cortisol awakening response as a function of PTSD severity and abuse chronicity in sheltered battered women. *Journal of Anxiety Disorders*, *22*(5), 793–800.

Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: A review. *Biological Psychology*, *69*(1), 113–132.

Kuhlman, K. R., Chiang, J. J., Bower, J. E., Irwin, M. R., Seeman, T. E., McCreath, H. E., Almeida, D. M., Dahl, R. E., & Fuligni, A. J. (2020). Sleep problems in adolescence are prospectively linked to later depressive symptoms via the cortisol awakening response. *Development and Psychopathology*, *32*(3), 997–1006. https://doi.org/10.1017/S0954579419000762

Kumari, M., Badrick, E., Ferrie, J., Perski, A., Marmot, M., & Chandola, T. (2009). Self-Reported Sleep Duration and Sleep Disturbance Are Independently Associated with Cortisol Secretion in the Whitehall II Study. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *94*(12), 4801–4809. https://doi.org/10.1210/jc.2009-0555

Lasikiewicz, N., Hendrickx, H., Talbot, D., & Dye, L. (2008). Exploration of basal diurnal salivary cortisol profiles in middle-aged adults: Associations with sleep quality and metabolic parameters. *Psychoneuroendocrinology*, *33*(2), 143–151. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2007.10.013

Masten, A. S. (2001). Ordinary magic: Resilience processes in development. *American Psychologist*, *56*(3), 227–238. https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.3.227

McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, *153*(18), 2093–2101.

Miller, R., & Plessow, F. (2013). Transformation techniques for cross-sectional and longitudinal endocrine data: Application to salivary cortisol concentrations. *Psychoneuroendocrinology*, *38*(6), 941–946. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.09.013

Minkel, J. D., Banks, S., Htaik, O., Moreta, M. C., Jones, C. W., McGlinchey, E. L., Simpson, N. S., & Dinges, D. F. (2012). Sleep deprivation and stressors: Evidence for elevated negative affect in response to mild stressors when sleep deprived. *Emotion*, *12*(5), 1015–1020. https://doi.org/10.1037/a0026871

Oskis, A., Loveday, C., Hucklebridge, F., Thorn, L., & Clow, A. (2009). Diurnal patterns of salivary cortisol across the adolescent period in healthy females. *Psychoneuroendocrinology*, *34*(3), 307–316. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.09.009

Pruessner, J. C., Hellhammer, D. H., & Kirschbaum, C. (1999). Burnout, perceived stress, and cortisol responses to awakening. *Psychosomatic Medicine*, *61*(2), 197–204. https://doi.org/10.1097/00006842-199903000-00012

Pruessner, J. C., Wolf, O. T., Hellhammer, D. H., Buske-Kirschbaum, A., Von Auer, K., Jobst, S., Kaspers, F., & Kirschbaum, C. (1997). Free Cortisol Levels after Awakening: A Reliable Biological Marker for the Assessment of Adrenocortical Activity. *Life Sciences*, *61*(26), 2539–2549. https://doi.org/10.1016/S0024-3205(97)01008-4

Scher, A., Hall, W. A., Zaidman ‐ Zait, A., & Weinberg, J. (2010). Sleep quality, cortisol levels, and behavioral regulation in toddlers. *Developmental Psychobiology*, *52*(1), 44–53. https://doi.org/10.1002/dev.20410

Schlotz, W. (2011). *Ambulatory psychoneuroendocrinology: Assessing salivary cortisol and other hormones in daily life*.

Selmaoui, B., & Touitou, Y. (2003). Reproducibility of the circadian rhythms of serum cortisol and melatonin in healthy subjects: A study of three different 24-h cycles over six weeks. *Life Sciences*, *73*(26), 3339–3349. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.05.007

Shea, A. K., Streiner, D. L., Fleming, A., Kamath, M. V., Broad, K., & Steiner, M. (2007). The effect of depression, anxiety and early life trauma on the cortisol awakening response during pregnancy: Preliminary results. *Psychoneuroendocrinology*, *32*(8–10), 1013–1020.

Spielberger, C. D., Gonzalez-Reigosa, F., Martinez-Urrutia, A., Natalicio, L. F., & Natalicio, D. S. (1971). The state-trait anxiety inventory. *Revista Interamericana de Psicologia/Interamerican Journal of Psychology*, *5*(3 & 4).

Stalder, T., Kirschbaum, C., Kudielka, B. M., Adam, E. K., Pruessner, J. C., Wüst, S., Dockray, S., Smyth, N., Evans, P., Hellhammer, D. H., Miller, R., Wetherell, M. A., Lupien, S. J., & Clow, A. (2016). Assessment of the cortisol awakening response: Expert consensus guidelines. *Psychoneuroendocrinology*, *63*, 414–432. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.10.010

Stalder, T., Lupien, S. J., Kudielka, B. M., Adam, E. K., Pruessner, J. C., Wüst, S., Dockray, S., Smyth, N., Evans, P., Kirschbaum, C., Miller, R., Wetherell, M. A., Finke, J. B., Klucken, T., & Clow, A. (2022). Evaluation and update of the expert consensus guidelines for the assessment of the cortisol awakening response (CAR). *Psychoneuroendocrinology*, *146*, 105946. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105946

Steptoe, A., Gibson, E. L., Hamer, M., & Wardle, J. (2007). Neuroendocrine and cardiovascular correlates of positive affect measured by ecological momentary assessment and by questionnaire. *Psychoneuroendocrinology*, *32*(1), 56–64.

Stroud, L. R., Salovey, P., & Epel, E. S. (2002). Sex differences in stress responses: Social rejection versus achievement stress. *Biological Psychiatry*, *52*(4), 318–327.

Sung, J. F., Taslimi, M. M., & Faig, J. C. (2012). Continuous glucose monitoring in pregnancy: New frontiers in clinical applications and research. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *6*(6), 1478–1485. https://doi.org/10.1177/193229681200600629

Therrien, F., Drapeau, V., Lupien, S. J., Beaulieu, S., Doré, J., Tremblay, A., & Richard, D. (2008). Awakening cortisol response in relation to psychosocial profiles and eating behaviors. *Physiology & Behavior*, *93*(1–2), 282–288.

Vargas, I., & Lopez-Duran, N. (2020). The cortisol awakening response after sleep deprivation: Is the cortisol awakening response a "response" to awakening or a circadian process? *Journal of Health Psychology*, *25*(7), 900–912. https://doi.org/10.1177/1359105317738323

Vgontzas, A. N., Bixler, E. O., Lin, H.-M., Prolo, P., Mastorakos, G., Vela-Bueno, A., Kales, A., & Chrousos, G. P. (2001). Chronic Insomnia Is Associated with Nyctohemeral Activation of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis: Clinical Implications. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *86*(8), 3787–3794. https://doi.org/10.1210/jcem.86.8.7778

Wolfram, M., Bellingrath, S., & Kudielka, B. M. (2011). The cortisol awakening response (CAR) across the female menstrual cycle. *Psychoneuroendocrinology*, *36*(6), 905–912. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2010.12.006

Wolpert, E. A. (1969). A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. *Archives of General Psychiatry*, *20*(2), 246. https://doi.org/10.1001/archpsyc.1969.01740140118016

Wüst, S., Federenko, I., Hellhammer, D. H., & Kirschbaum, C. (2000). Genetic factors, perceived chronic stress, and the free cortisol response to awakening. *Psychoneuroendocrinology*, *25*(7), 707–720.

Xiong, B., Chen, C., Tian, Y., Zhang, S., Liu, C., Evans, T. M., Fernández, G., Wu, J., & Qin, S. (2021). Brain preparedness: The proactive role of the cortisol awakening response in hippocampal-prefrontal functional interactions. *Progress in Neurobiology*, *205*, 102127.

Yu, X., & Zhang, J. (2007). A comparison between the Chinese version of Ego-Resiliency Scale and Connor-Davidson Resilience Scale. *Psychological Science*, *30*(5), 3.

[于肖楠, & 张建新. (2007). 自我韧性量表与 Connor-Davidson 韧性量表的应用比较. 心理科学, *30*(5), 3.]

Ye, R., & TomRocklin. (1988). The research on test anxiety of cross-culture. *Psychological Science*, *3*, 6.

[叶仁敏, & TomRocklin. (1988). 测验焦虑的跨文化研究. 心理科学, 3, 6.]

The Relationship between Variability in Cortisol Awakening Response induced by Sleep Efficiency and its Correlation with Trait Anxiety and Psychological Resilience

Abstract

The Cortisol Awakening Response (CAR) is closely associated with individual psychological health. Traditional studies have used the mean value of CAR over several days to explore this relationship; however, research conclusions have been highly inconsistent due to the influence of state-dependent factors such as sleep. Therefore, this study introduces CAR variability across multiple days as a novel measure to quantify CAR and investigates its relationship with psychological health by considering trait anxiety and psychological resilience as key variables under controlled or manipulated sleep efficiency scenarios. It was hypothesized that under controlled sleep efficiency conditions, smaller CAR variability reflects positive psychological health characteristics, specifically higher psychological resilience scores and lower trait anxiety scores. Conversely, under manipulated sleep efficiency conditions, greater CAR variability was hypothesized to better reflect positive psychological health characteristics, specifically higher psychological resilience scores and lower trait anxiety scores.

Two experiments were conducted to test these hypotheses. In Experiment 1, 28 participants reduced CAR variability by increasing sleep efficiency stability under three similar natural sleep days. In Experiment 2, 41 participants experienced a full night of sleep deprivation following two natural sleep days to increase CAR variability. All participants wore a sleep wristwatch to assess their sleep efficiency during the experimental period and provided four saliva samples at awakening and at 30, 45, and 60 minutes post-awakening to assess CAR. The Trait Anxiety Inventory (TAI) and the Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC) were used as key variables reflecting individual psychological health. Finally, the relationship between CAR variability over multiple days and trait anxiety/psychological resilience was examined.

Experiment 1 found no significant differences in participants' sleep efficiency or CAR across the three natural sleep days. Additionally, a significant positive correlation was observed between CAR variability and trait anxiety scores over the three days, indicating that smaller CAR variability in a stable environment is associated with lower levels of trait anxiety. Experiment 2 found no significant differences in participants' sleep efficiency and CAR across the first two natural sleep days. However, on the third day, following a full night of sleep deprivation, CAR showed a marked blunting, with post-deprivation CAR levels significantly lower than those on the preceding two natural sleep days. Moreover, Experiment 2 found a significant positive correlation between CAR variability before and after sleep deprivation and psychological resilience. This suggests that higher CAR variability in a changing environment is associated with higher levels of

psychological resilience. When the traditional CAR mean was used as a measure to explore its relationship with trait anxiety and psychological resilience, no significant correlations were found in either experiment.

These results indicate that CAR variability is a reliable physiological indicator of psychological health. Smaller CAR variability in stable environments is associated with lower levels of trait anxiety, whereas greater CAR variability in more variable environments is associated with higher levels of psychological resilience. This study emphasizes the importance of considering CAR variability over multiple days to understand how individuals adapt to daily stressors and challenges, providing new perspectives and evidence for promoting psychological health and designing effective intervention strategies in the future.
Key words: Cortisol Awakening Response (CAR), Variability, Sleep Efficiency, Trait Anxiety, Psychological Resilience

附件 1 特质焦虑量表(Trait Anxiety Inventory ,TAI)

请阅读每一个陈述并根据你平常的实际和真实感受在相应的答案上打“√”

	几乎没有	**有点**	**经常**	**几乎总是如此**
1. 我感到愉快	1	2	3	4
2. 我感到神经过敏和不安	1	2	3	4
3. 我感到自我满足	1	2	3	4
4. 我希望能和别人那样地高兴	1	2	3	4
5. 我感到我像衰竭一样	1	2	3	4
6. 我感到很宁静	1	2	3	4
7. 我是平静的、冷静的和泰然自若的	1	2	3	4
8. 我感到困难一一堆积起来，因此无法克服	1	2	3	4
9. 我过分忧虑一些事，实际这些事无关紧要	1	2	3	4
10. 我是高兴的	1	2	3	4
11. 我的思想处于混乱状态	1	2	3	4
12. 我缺乏自信心	1	2	3	4
13. 我感到安全	1	2	3	4
14. 我容易做出决断	1	2	3	4
15. 我感到不合适	1	2	3	4
16. 我是满足的	1	2	3	4
17. 一些不重要的思想总缠绕着我，并打扰我	1	2	3	4
18. 我产生的沮丧是如此强烈，以致我不能从思想上排除它们	1	2	3	4
19. 我是一个镇定的人	1	2	3	4
20. 当我考虑我目前的事情和利益时就陷入紧张状态	1	2	3	4

附件 2 心理弹性量表(Connor-Davidson resilience scale ,CD-RISC)

请根据您过去一个月的情况，对下面每个阐述，在最符合实际情况的一项上打“√”

	几乎没有	比较少	中等程度	比较多	极其多
1. 我有能力去适应变化。	1	2	3	4	5
2. 我拥有一些亲密稳固的关系（亲人、朋友、爱人等）。	1	2	3	4	5
3. 有时命运或机缘能够帮助我。	1	2	3	4	5
4. 无论发生什么我都能应付。	1	2	3	4	5
5.过去的成功让我有信心面对新的挑战和困难。	1	2	3	4	5
6. 当面对问题时，我能够看到事情积极的一面。	1	2	3	4	5
7. 应对压力使我感到有力量。	1	2	3	4	5
8. 经历艰难或疾病后，我往往会很快恢复。	1	2	3	4	5
9. 我努力学习/工作以达到目标。	1	2	3	4	5
10.无论结果怎样，我都会尽自己最大努力。	1	2	3	4	5
11.我能实现自己的目标	1	2	3	4	5
12. 当事情看起来没什么希望时，我也不会轻易放弃。	1	2	3	4	5
13. 我知道去哪里可以获得帮助。	1	2	3	4	5
14.在压力下，我能够集中注意力并清晰思考。	1	2	3	4	5
15. 我喜欢在解决问题时起带头作用。	1	2	3	4	5
16. 我不会因失败而气馁。	1	2	3	4	5
17. 我认为自己面对困难或压力是个强而有力的人。	1	2	3	4	5
18. 我能够处理不快乐的情绪	1	2	3	4	5
19. 我擅长激励自己。	1	2	3	4	5
20. 我觉得能掌控自己的生活	1	2	3	4	5
21. 我喜欢挑战。	1	2	3	4	5
22.我为自己的成就/成绩感到自豪。	1	2	3	4	5
23.我有强烈的目的感。	1	2	3	4	5
24. 事情发生总是有原因的。	1	2	3	4	5
25. 我能做出艰难的或不寻常的决定。	1	2	3	4	5